

АНАЛИЗ ИОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

В. А. Грибков, О. Н. Крохин, Л. И. Крупник, П. В. Силин

УДК 533.9.07

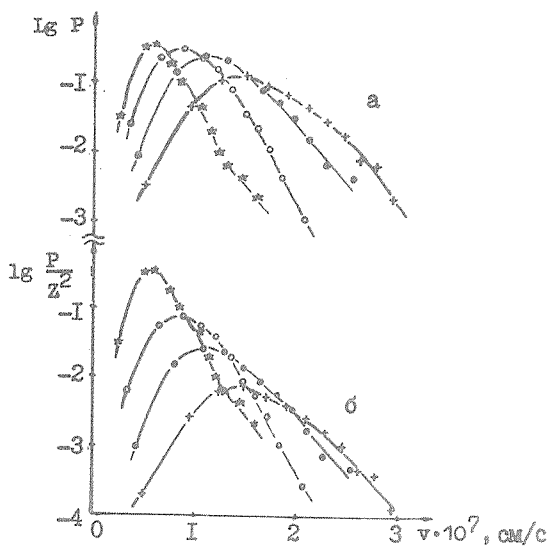
- Представлены распределения по скоростям ионов алюминия, полученные в результате анализа ионной компоненты лазерной плазмы с помощью масс-спектрографа Томсона.

Получение и исследование ионов лазерной плазмы проводилось на установке, описанной в работе /1/. Излучение неодимового лазера длительностью 2 нс фокусировалось по нормали к поверхности массивной, конической алюминиевой мишени с раствором ко- нуса 100° . Диаметр пятна фокусировки 200 мкм. Плотность потока энергии лазерного излучения на поверхности мишени $q \approx 10^{13}$ Вт/см². Для анализа ионов был использован масс-спектрограф Томсона, регистрирующий ионы разлетающейся плазмы под

углом 40° к нормали к поверхности мишени. В качестве детектора использовались фотопластинки типа МК.

Полученные масс-спектрограммы дали информацию о зарядовом и энергетическом составе ионов алюминия лазерной плазмы. Зарегистрированы ионы с зарядом до $Z = 12$ и энергией до 170 кэВ. В результате фотометрирования фотопластинок с полученными параблами были определены интенсивности почернения фотоэмульсии P . Представленные на рис. 1а экспериментальные кривые отвечают зависимости почернения P от скорости ионов алюминия.

Почернение является функцией многих параметров, исследованные зависимости от которых явились предметом настоящей работы.



Р и с. 1 а) Зависимости интенсивности почернения в единичном интервале скоростей $\Delta P/\Delta v$ от скорости ионов, построенные по результатам фотометрирования масс-спектрограмм; б) зависимости отношения интенсивности почернения к квадрату заряда ионов в единичном интервале скоростей $\Delta P/Z^2 \Delta v$ от скорости ионов:

* - Al^+ , о - Al^{+2} , □ - Al^{+3} , + - Al^{+4}

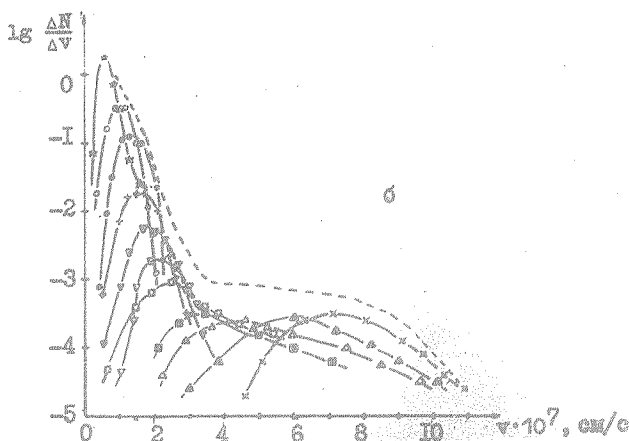
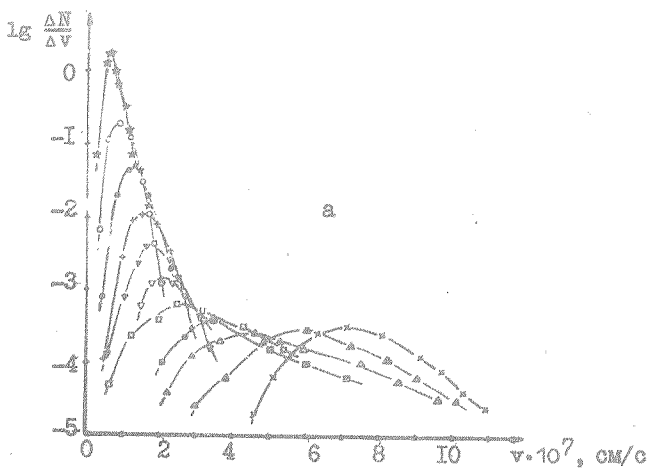
Интенсивность почернения зависит не только от числа частиц ΔN , но и от заряда ионов. На основании работы /2/ мы нашли зависимость $P(Z)$. Для этого мы воспользовались следующим важным свойством градуировочных кривых зависимости P от σ - заряда, приходящегося на единицу площади фотопластины, вытекающим из данной работы /2/. Именно, при небольших интенсивностях почернения, когда P пропорционально σ , оказывается, что $P(Z = 2) = 4P(Z = 1)$, при одинаковом числе и энергии ионов, вызвавших эти почернения. Это отвечает факту более сильного взаимодействия ионов Al^{+2} по сравнению с ионами Al^{+} с веществом фотомульсии, которое, как можно теперь утверждать, пропорционально Z^2 . Такая зависимость $P(Z)$ отвечает пропорциональности сечения взаимодействия квадрату заряда падающей частицы. На рис. 1б представлены кривые, характеризующие зависимость $P(Z)/Z^2$ от скорости ионов.

Энергии ионов, для которых градуировались фотопластины в работе /2/, не превышали 50 кэВ. При таких энергиях зависимость интенсивности почернения от скорости для ионов H^+ является линейной в диапазоне скоростей до $3,1 \cdot 10^8$ см/с, который перекрывает диапазон скоростей ионов алюминия в нашем эксперименте. Аналогичная линейная зависимость наблюдается и для однозарядных ионов с другими атомными массами, в диапазоне скоростей до $0,8 \times 10^8$ см/с. Продолжая эту линейную зависимость на весь диапазон интересующих нас скоростей ионов алюминия, получим в явном виде зависимость интенсивности почернения от числа падающих на фотопластинку ионов ΔN_Z :

$$P(Z, v) = 16,6 \Delta N_Z Z^2 e v / S, \quad (I)$$

где e - заряд электрона в кулонах, S - фотометрируемая площадь фотопластины в квадратных сантиметрах, v - скорость ионов, падающих на фотопластинку, в сантиметрах в секунду, коэффициент пропорциональности в (I) получен из градуировочных кривых работы /2/.

На рис. 2а показано распределение ионов разной зарядности по скоростям, полученное при обработке спектров по формуле (I). Кривые, соответствующие ионам разных зарядов, дополняют друг друга и образуют одну общую кривую для ионов всех зарядностей, что позволяет предположить, что процесс формирования ионов меньшей



Р и с. 2. Распределение ионов по скоростям, полученное без учета перезарядки (а) и с учетом перезарядки (б): \star - Al^{+1} , \circ - Al^{+2} , \bullet - Al^{+3} , $+$ - Al^{+4} , ∇ - Al^{+5} , \triangledown - Al^{+6} , \square - Al^{+7} , \blacksquare - Al^{+8} , \triangle - Al^{+9} , \blacktriangle - Al^{+10} , \times - Al^{+11} . Циклом изображено суммарное распределение ионов всех зарядностей

зарядности соответствует рекомбинации многозарядных ионов в течение разлета после их ускорения. Видно, что характер функции распределения соответствует экспоненциальной зависимости от скорости, которая, в частности, получается в предположении изотермичности разлета /3/.

Помимо парабол, на фотопластинках наблюдались интенсивные следы, вызванные ионами алюминия, перезарядившимися внутри прибора между анализатором и формирующим зазором. Для этих ионов также можно построить распределения по скоростям. Число перезарядившихся частиц уменьшается с увеличением их заряда от 50% для ионов Al^{+2} , перезарядившихся в Al^{+4} , до 10% для ионов Al^{+7} , перезарядившихся в Al^{+6} . Такое большое относительное число перезарядившихся ионов, по-видимому, может быть объяснено сложными вакуумными условиями в трубе, соединяющей анализатор с мишенной камерой, хотя давление в последних составляло $5 \cdot 10^{-6}$ торр. Распределения ионов по скоростям до процесса перезарядки представлены на рис. 26.

Сложив все распределения по скоростям для ионов каждой зарядности $\Delta N_Z / \Delta v$, получим общее распределение ионов по скоростям $\Delta N / \Delta v$, которое можно поставить в соответствие автомодельному разлету плазмы с двумя значениями температуры электронов. Определенные по тангенсам угла наклона функции распределения звуковые скорости и температуры электронов /4/ составили: $C_1 = 3,2 \cdot 10^6$ см/с, температура холодных электронов $T_c \approx 30-40$ эВ; $C_2 = 1,5 \cdot 10^7$ см/с, температура горячих электронов $T_h \approx 500$ эВ.

Полное число пришедших на фотопластинку ионов $n = 1,5$ к $\times 10^7$; количество ионов, соответствующих быстрой части распределения, составило менее 0,5% от полного числа частиц.

Таким образом, в настоящей работе изложены первые результаты исследования ионов лазерной плазмы с использованием контролируемого метода отбора ионов из плазмы для проведения масс-спектрометрических измерений. Применение калиброванных фотозуммисий для регистрации ионов обеспечило получение количественной информации по всему спектру скоростей для ионов всех зарядностей.

Поступила в редакцию
29 марта 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Б. Буянов и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 6, 7 (1983).
2. Л. И. Крушник, Т. А. Азарова, И. Г. Шулика, в сб. "Исследование плазменных ступиц", "Наукова думка", Киев, 1967 г., с. 191.
3. А. В. Гуревич, Л. П. Питаевский, в сб. "Вопросы теории плазмы", вып. 10, Нелинейная динамика, Атомиздат, М., 1980 г., с. 3.
4. L. M. Wickens, J. E. Allen, P. T. Rumsby, Phys. Rev. Lett., 41, 243 (1978).